

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-184520

(P2016-184520A)

(43) 公開日 平成28年10月20日 (2016. 10. 20)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
 H05H 9/00 (2006.01) H05H 9/00 Z 2G085

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2015-64628 (P2015-64628)  
 (22) 出願日 平成27年3月26日 (2015. 3. 26)

(出願人による申告) 平成23年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構健康安心イノベーションプログラム (がん細胞選択的な非侵襲治療機器の基盤技術開発 (中性子捕捉療法用病院併設型小型直線加速器の研究開発)) 委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 309036221  
 三菱重工メカトロシステムズ株式会社  
 兵庫県神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号

(71) 出願人 504151365  
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
 茨城県つくば市大穂1番地1

(74) 代理人 100099623  
 弁理士 奥山 尚一

(74) 代理人 100096769  
 弁理士 有原 幸一

(74) 代理人 100107319  
 弁理士 松島 鉄男

最終頁に続く

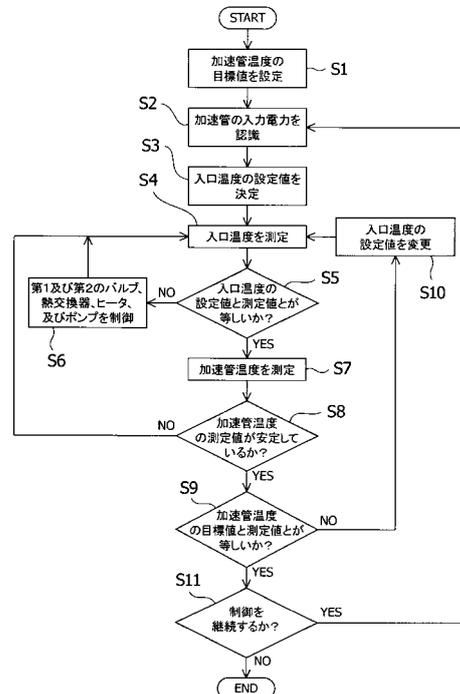
(54) 【発明の名称】 加速器、及び加速管の温度管理方法

(57) 【要約】

【課題】 発熱量の増加した加速管を冷却流体の流量を増加させずに一定温度に維持可能とする加速器、及び加速管の温度管理方法を提供する。

【解決手段】 本発明は、加速管の冷却路に流れる冷却流体によって加速管を一定温度に維持する加速器及び加速管の温度管理方法に関する。本発明の加速器及び温度管理方法では、加速管の入力電力に基づき冷却路の入口を通過する冷却流体の入口温度の設定値を定め、入口温度を測定し、入口温度の設定値と測定値とが異なる場合、入口温度の測定値を設定値と等しくするように、冷却路の入口及び出口間を連結する循環路の冷却流体の流量をバルブにより調節すること、及び循環路の冷却流体をヒータにより加熱することの少なくとも一方を実施し、入口温度を調節した冷却流体により冷却又は加熱される加速管の温度を測定し、加速管温度の目標値と測定値とが異なる場合、加速管温度の測定値を目標値と等しくするように入口温度の設定値を変更する。

【選択図】 図5



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

荷電粒子を加速するように構成された加速管と、  
前記加速管を一定温度に維持するように構成された冷却装置と  
を備え、  
前記冷却装置が、  
前記加速管に配置されると共に前記加速管を一定温度に維持するために冷却流体を流す  
ように構成された冷却路と、  
前記冷却路の入口及び出口間を連結すると共に冷却流体を流すように構成された循環路  
と、  
前記循環路に配置されると共に冷却流体の流量を調節するように構成されたバルブと、  
前記循環路に配置されると共に冷却流体を加熱するように構成されたヒータと、  
前記バルブ及び前記ヒータを制御可能とするように構成された制御部と  
を有している、加速器であって、  
前記冷却路の入口を通過する冷却流体の入口温度と前記冷却路の出口を通過する冷却流  
体の出口温度との温度差を許容しながら前記加速管への入力電力に基づいて前記入口温度  
の設定値が定められ、  
前記制御部が、前記入口温度の設定値に基づいて、前記加速管を一定温度に維持するよ  
うに前記バルブ及び前記ヒータの少なくとも一方を制御する構成となっている、加速器。

10

**【請求項 2】**

前記冷却装置が、  
前記入口温度を測定するように構成された入口温度検出部と、  
前記加速管に取付けられると共に前記加速管の加速管温度を測定するように構成された  
加速管温度検出部と  
をさらに有し、  
前記入口温度の設定値と、前記入口温度検出部により測定された前記入口温度の測定値  
とが異なる場合、前記制御部が、前記入口温度の測定値を前記設定値と等しくするよう  
に前記バルブ及び前記ヒータの少なくとも一方を制御する構成になっており、  
予め定められた前記加速管温度の目標値と、前記加速管温度検出部によって測定された  
前記加速管温度の測定値とが異なる場合、前記制御部が、前記加速管温度の測定値を前  
記目標値と等しくするよう前記入口温度の設定値を変更する構成になっている、請求項 1  
に記載の加速器。

20

30

**【請求項 3】**

前記冷却装置が、  
2つの前記バルブと、  
前記循環路に配置されると共に冷却流体を冷却するように構成された熱交換器と、  
前記循環路に配置されると共に冷却流体を貯蔵するように構成されたタンクと、  
前記循環路に配置されると共に冷却流体を前記加速管の冷却路に送るよう構成された  
ポンプと  
をさらに有し、  
前記タンクが前記冷却路の出口の下流に位置し、  
前記ポンプが前記タンクの下流に位置し、  
前記ヒータが前記ポンプの下流に位置し、  
前記循環路が前記冷却路の出口と前記タンクとの間に2つの分流路部を有し、  
前記2つの分流路部の一方に、前記熱交換器及び前記2つのバルブの一方が位置し、  
前記2つの分流路部の他方に、前記2つのバルブの他方が位置しており、  
前記入口温度の設定値と前記入口温度の測定値とが異なる場合、前記入口温度の設定値  
と測定値との差異に基づいて前記入口温度の測定値が前記設定値と等しくなるように、前  
記制御部が前記熱交換器及び前記ポンプをさらに制御できるように構成されている、請求  
項 1 又は 2 に記載の加速器。

40

50

## 【請求項 4】

荷電粒子を加速する加速管に配置された冷却路に流れる冷却流体によって、前記加速管を一定温度に維持する加速管の温度管理方法であって、

前記加速管への入力電力に基づいて前記冷却路の入口を通過する冷却流体の入口温度の設定値を定めるステップと、

前記冷却流体の入口温度を測定するステップと、

前記入口温度の設定値と前記入口温度の測定値とが異なる場合、前記入口温度の測定値を前記設定値と等しくするように、前記冷却路の入口及び出口間を連結する循環路に流れる冷却流体の流量をバルブにより調節すること、及び前記循環路に流れる冷却流体をヒータにより加熱することの少なくとも一方を実施するステップと、

10

前記流量調節及び加熱の少なくとも一方を実施された冷却流体によって冷却又は加熱される前記加速管の加速管温度を測定するステップと、

予め定められた前記加速管温度の目標値と前記加速管温度の測定値とが異なる場合、前記加速管温度の測定値を前記目標値と等しくするように、前記入口温度の設定値を変更するステップと

を含む加速管の温度管理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、荷電粒子を加速するように構成された加速管と該加速管を一定温度に維持するように構成された冷却装置とを備える加速器に関する。また、本発明は、荷電粒子を加速するように構成された加速管の温度管理方法に関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

原子核、素粒子等の研究、陽電子断層撮影 (PET、Positron Emission Tomography)、癌放射線治療、人為的な遺伝子変異の発生、放射性廃棄物の無害化等のような様々な目的のために、荷電粒子を加速するための加速器が用いられている。加速器においては、その加速管に高周波電力を入力することによって加速管内に高周波の電磁場を生成し、生成された高周波の電磁場で荷電粒子を加速している。このような加速管の性能を維持するためには、加速管が高い寸法精度を有する必要がある。しかしながら、高周波電力を入力した際には、加速管を構成する周壁表面の電気抵抗によって加速管に熱が発生し、その結果、熱膨張によって加速管の寸法が変化し、加速管の性能が低下するおそれがある。そのため、加速器には、加速管を一定温度に維持するための冷却装置が設けられている。

30

## 【0003】

従来の冷却装置においては、例えば、特許文献 1 に開示されるように、冷却流体を通過可能とする流路が加速管の周壁に設けられ、この流路を流れる冷却流体によって加速管が一定温度に維持されており、流路の入口を通過する冷却流体の入口温度が一定となるように制御されている。このような加速管を確実に一定温度に維持するために、流路の入口を通過する冷却流体の入口温度と流路の出口を通過する冷却流体の出口温度との温度差を低く抑えることが要求されている。

40

## 【0004】

さらに近年では、加速器の利用が活発になり、加速器においては、荷電粒子の量を増加させることが要求されている。しかしながら、荷電粒子の量を増加させた場合、加速管に入力する高周波電力を増加させる必要があり、これによって、加速管の発熱量が増加することとなる。ここで、冷却流体により一定温度に維持される加速管の発熱量  $P$  と、冷却流体の流量  $Q$  と、冷却流体の比熱  $C$  と、冷却流体の温度変化  $T$  との関係は、下記 (式 1) のようになる。

## 【0005】

【数 1】

$$Q \cdot C \cdot \Delta T \propto P \quad \dots \quad (\text{式 1})$$

【0006】

上記(式1)によれば、加速管の発熱量が増加した場合、冷却流体の流量を増加させる必要がある。例えば、従来 of RFQ (Radio Frequency Quadrupole) 型の加速器においては、加速管の温度変化を1℃以内に抑えるために、発熱量を16kWとする加速管に対して、流量を300l/minとするように冷却流体を流している。同様のRFQ型の加速器において加速管の発熱量を60kWとした場合、加速管の温度変化を1℃以内に抑えるためには、流量を1125l/minとするように冷却流体を流す必要がある。また、一般的には、冷却流体の流速は1m/sec~3m/secとされていることに対して、上述のように冷却流体の流量を1125l/minとした場合、冷却流体の流速は約9m/secとなる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開平8-221138号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0008】

しかしながら、発熱量を増加させた加速管において、冷却流体の入口温度と出口温度との温度差を低く抑えるように冷却流体の流量を増加させ、かつ冷却流体の流速を増加させた場合、冷却流体によって流路が浸食され易くなって、加速管を作製することが難しくなる。例えば、上述したRFQ型の加速管のように、冷却流体の流量を1125l/minに増加させ、かつ冷却流体の流速を約9m/secに増加させた場合、加速管の流路が著しく浸食される。そのため、上述のように発熱量を60kWとする加速管を作製することが困難となっている。また、冷却流体の流速を増加させずに冷却流体の流量を増加させる場合、加速管の流路の数を増加させること、及び加速管の流路の横断面積を増加させることが必要になり、加速管を冷却するための構造が複雑になって、加速管を作製することが難しくなる。さらに、冷却流体の流量を増加させるためには、大容量のポンプを用いること等が必要となり、その結果、加速器が大型化し、かつ加速器の製造コストが増加するという問題がある。

30

【0009】

本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであって、発熱量の増加した加速管を、冷却流体の流量を増加させずに一定温度に維持可能とする加速器、及び加速管の温度管理方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

課題を解決するために、本発明の一態様に係る加速器は、荷電粒子を加速するように構成された加速管と、前記加速管を一定温度に維持するように構成された冷却装置とを備え、前記冷却装置が、前記加速管に配置されると共に前記加速管を一定温度に維持するために冷却流体を流すように構成された冷却路と、前記冷却路の入口及び出口間を連結すると共に冷却流体を流すように構成された循環路と、前記循環路に配置されると共に冷却流体の流量を調節するように構成されたバルブと、前記循環路に配置されると共に冷却流体を加熱するように構成されたヒータと、前記バルブ及び前記ヒータを制御可能とするように構成された制御部とを有している、加速器であって、前記冷却路の入口を通過する冷却流体の入口温度と前記冷却路の出口を通過する冷却流体の出口温度との温度差を許容しながら前記加速管への入力電力に基づいて前記入口温度の設定値が定められ、前記制御部が、前記入口温度の設定値に基づいて、前記加速管を一定温度に維持するように前記バルブ及

40

50

び前記ヒータの少なくとも一方を制御する構成となっている。

【0011】

本発明の一態様に係る加速器では、前記冷却装置が、前記入口温度を測定するように構成された入口温度検出部と、前記加速管に取付けられると共に前記加速管の加速管温度を測定するように構成された加速管温度検出部とをさらに有し、前記入口温度の設定値と、前記入口温度検出部により測定された前記入口温度の測定値とが異なる場合、前記制御部が、前記入口温度の測定値を前記設定値と等しくするように前記バルブ及び前記ヒータの少なくとも一方を制御する構成になっており、予め定められた前記加速管温度の目標値と、前記加速管温度検出部によって測定された前記加速管温度の測定値とが異なる場合、前記制御部が、前記加速管温度の測定値を前記目標値と等しくするように前記入口温度の設定値を変更する構成になっている。

10

【0012】

本発明の一態様に係る加速器では、前記冷却装置が、2つの前記バルブと、前記循環路に配置されると共に冷却流体を冷却するように構成された熱交換器と、前記循環路に配置されると共に冷却流体を貯蔵するように構成されたタンクと、前記循環路に配置されると共に冷却流体を前記加速管の冷却路に送るために構成されたポンプとをさらに有し、前記タンクが前記冷却路の出口の下流に位置し、前記ポンプが前記タンクの下流に位置し、前記ヒータが前記ポンプの下流に位置し、前記循環路が前記冷却路の出口と前記タンクとの間に2つの分流路部を有し、前記2つの分流路部の一方に、前記熱交換器及び前記2つのバルブの一方が位置し、前記2つの分流路部の他方に、前記2つのバルブの他方が位置してあり、前記入口温度の設定値と前記入口温度の測定値とが異なる場合、前記入口温度の設定値と測定値との差異に基づいて前記入口温度の測定値が前記設定値と等しくなるように、前記制御部が前記熱交換器及び前記ポンプをさらに制御できるように構成されている。

20

【0013】

本発明の一態様に係る加速管の温度管理方法は、荷電粒子を加速する加速管に配置された冷却路に流れる冷却流体によって、前記加速管を一定温度に維持する加速管の温度管理方法であって、前記加速管への入力電力に基づいて前記冷却路の入口を通過する冷却流体の入口温度の設定値を定めるステップと、前記冷却流体の入口温度を測定するステップと、前記入口温度の設定値と前記入口温度の測定値とが異なる場合、前記入口温度の測定値を前記設定値と等しくするように、前記冷却路の入口及び出口間を連結する循環路に流れる冷却流体の流量をバルブにより調節すること、及び前記循環路に流れる冷却流体をヒータにより加熱することの少なくとも一方を実施するステップと、前記流量調節及び加熱の少なくとも一方を実施された冷却流体によって冷却又は加熱される前記加速管の加速管温度を測定するステップと、予め定められた前記加速管温度の目標値と前記加速管温度の測定値とが異なる場合、前記加速管温度の測定値を前記目標値と等しくするように、前記入口温度の設定値を変更するステップとを含んでいる。

30

【0014】

そのため、冷却流体の入口温度と出口温度との温度差を従来の温度差と比較して大きくした状態においても、上述のように冷却流体の入口温度を管理することによって、加速管温度の測定値を加速管温度の目標値と等しくし、加速管を確実に一定温度に維持することができる。このような構成においては、冷却流体の入口温度と出口温度との温度差を抑えるために、冷却流体の流量を増加させる必要がない。よって、発熱量の増加した加速管を、冷却流体の流量を増加させずに一定温度に維持することができる。また、冷却流体の流量を増加させる必要がないことによって、加速管の流路の数を増加させる必要がなくなり、加速管の流路の横断面積を増加させる必要がなくなり、かつ大容量のポンプを用いる必要がなくなる。よって、付随的な効果として、加速器の大型化を防止でき、かつ加速器の製造コストの増加を防止できる。

40

【発明の効果】

【0015】

50

本発明の一態様に係る加速器、及び加速管の温度管理方法によれば、発熱量の増加した加速管を、冷却流体の流量を増加させずに一定温度に維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の実施形態に係る加速器を示す模式図である。

【図2】加速管を一定温度に維持しない状態における加速管の入力電力と加速管温度との関係を示す図である。

【図3】本発明の実施形態において、加速管の入力電力に対する冷却水の入口温度の設定値及び加速管温度の目標値の関係を示す図である。

【図4】本発明の実施形態において、冷却水の入口温度の変化量と加速管温度の変化量との関係を示す図である。

【図5】本発明の実施形態に係る加速管の温度管理方法を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明の実施形態に係る加速器、及び加速管の温度管理方法について以下に説明する。最初に、本実施形態に係る加速器について説明する。図1に示すように、加速器1は、荷電粒子を加速する加速管2を備えている。加速管2は、該加速管2に入力される電力（以下、「入力電力」という）Pを増加させることによって、荷電粒子の量を増加可能とするように構成されている。

【0018】

加速器1は、加速管2を一定温度に維持する冷却装置3を備えている。冷却装置3は、加速管2に配置された冷却路4を有しており、この冷却路4に冷却流体を流すことによって、加速管2が一定温度に維持されるようになっている。冷却装置3は、冷却流体を流入させる冷却路4の入口4aと冷却流体を流出させる冷却路4の出口4bとの間で冷却水を循環させるように、冷却路4の入口4aと冷却路4の出口4bとを連結する循環路5を有している。

【0019】

循環路5は、冷却路4の出口4bから分流する2つの分流路部5a、5bとして第1の分流路部5aと第2の分流路部5bとを有している。第1の分流路部5a及び第2の分流路部5bには、それぞれ第1のバルブ6及び第2のバルブ7が設けられており、第1のバルブ6及び第2のバルブ7は、それぞれ循環路5の第1の分流路部5a及び第2の分流路部5bに流れる冷却流体の流量を調節可能とするように構成されている。さらに、第1の分流路5bには熱交換器8が設けられ、熱交換器8は第1のバルブ6の下流に配置されている。第1の分流路部5a及び第2の分流路部5bの下流側端は、タンク9に接続されている。タンク9は、循環路5に流れる冷却流体を貯蔵可能とするように構成されており、タンク9に貯蔵された冷却流体は一定時間経過後には設定温度に維持されることとなる。

【0020】

循環路5は、加速管2の冷却路4の出口4bとタンク9とを連結する主流路部5cを有している。主流路部5cには、ヒータ10及びポンプ11が設けられており、ヒータ10は主流路部5cに流れる冷却流体を加熱するように構成され、ポンプ11は主流路部5cに流れる冷却流体を所定の圧力で加速管2の冷却路4に送るよう構成されている。ポンプ11はタンク9の下流に位置しており、ヒータ10は当該ポンプ11の下流に位置している。

【0021】

加速管2の冷却路4の入口4aには入口温度検出部12が配置されており、入口温度検出部12は、冷却路4の入口4aを通過する冷却流体の温度（以下、「入口温度」という）T1を測定するように構成されている。加速管2には加速管温度検出部13が取り付けられ、加速管温度検出部13は加速管2の温度（以下、「加速管温度」という）T2を測定するように構成されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

冷却装置 3 は、循環路 5、第 1 のバルブ 6、第 2 のバルブ 7、熱交換器 8、タンク 9、ヒータ 10、ポンプ 11、入口温度検出部 12、及び加速管温度検出部 13 に電氣的に接続された制御部 14 を有している。制御部 14 は、加速管 2 の入力電力 P を認識可能とするように構成されている。制御部 14 は、予め定められた加速管温度 T2 の目標値を記憶可能に構成されている。制御部 14 は、予め定められた加速管温度 T2 の目標値を達成するように、加速管 2 の入力電力 P に基づいて入口温度 T1 の設定値を定める構成になっている。ここで、加速管 2 の入力電力 P と入口温度 T1 の設定値との関係について説明する。図 2 にて実線 R1 により示すように、加速管 2 を一定温度に維持しない状態では、縦軸の加速管温度 T2 は横軸の入力電力 P の増加に比例して増加する。このような関係に基づいて、図 3 にて破線 B1 により示すように、横軸の入力電力 P に対する縦軸の予め定められた加速管温度 T2 の目標値を達成すべく、図 3 にて実線 R2 により示すように、縦軸の入口温度 T1 の設定値は横軸の入力電力 P の増加に比例して低くなるように設定されている。

10

## 【 0 0 2 3 】

さらに、制御部 14 は、入口温度検出部 12 により測定された冷却流体の入口温度 T1 を識別可能に構成されている。制御部 14 は、加速管温度検出部 13 により測定された加速管温度 T2 を識別可能に構成されている。

## 【 0 0 2 4 】

制御部 14 は、第 1 の分流路部 5a 及び第 2 の分流路部 5b に流れる冷却流体の流量を調節するように、第 1 のバルブ 6 及び第 2 のバルブ 7 を制御する構成になっている。制御部 14 は、第 1 の分流路部 5a に流れる冷却流体を冷却する温度を調節するように、熱交換器 8 を制御する構成になっている。制御部 14 は、主流路部 5c に流れる冷却流体を加熱する温度を調節するように、ヒータ 10 を制御する構成になっている。制御部 14 は、主流路部 5c に流れる冷却流体を加速管 2 の冷却路 4 に送る圧力を調節するように、ポンプ 11 を制御する構成になっている。

20

## 【 0 0 2 5 】

制御部 14 は、入口温度 T1 の設定値と測定値とが異なる場合、入口温度 T1 の設定値と測定値との差異に基づいて入口温度 T1 の測定値が設定値と等しくなるように、第 1 のバルブ 6、第 2 のバルブ 7、熱交換器 8、ヒータ 10、及びポンプ 11 の少なくとも一つを制御する構成になっている。例えば、入口温度 T1 の測定値が入口温度 T1 の設定値より大きい場合、第 1 のバルブ 6 を開き、かつ第 2 のバルブ 7 を閉じた状態で、熱交換器 8 によって冷却流体を冷却する温度を低くしてもよく、また、第 1 のバルブ 6 により冷却流体の流量を増加させてもよい。第 1 のバルブ 6 を閉じ、かつ第 2 のバルブ 7 を開いた状態で、第 2 のバルブ 7 により冷却流体の流量を増加させてもよい。ヒータ 10 によって冷却流体を加熱する温度を低くしてもよい。ポンプ 11 によって冷却流体を送る圧力を増加させて、冷却流体の流量を増加させてもよい。

30

## 【 0 0 2 6 】

その一方で、例えば、入口温度 T1 の測定値が入口温度 T1 の設定値より小さい場合、第 1 のバルブ 6 を開き、かつ第 2 のバルブ 7 を閉じた状態で、熱交換器 8 によって冷却流体を冷却する温度を高くしてもよく、または、第 1 のバルブ 6 により冷却流体の流量を減少させてもよい。第 1 のバルブ 6 を開き、かつ第 2 のバルブ 7 を閉じた状態から、第 1 のバルブ 6 を閉じ、かつ第 2 のバルブ 7 を開いた状態に変更することによって、熱交換器 8 によって冷却流体を冷却せずに、冷却流体を第 2 の分流路部 5b のみに通過させてもよい。第 1 のバルブ 6 を閉じ、かつ第 2 のバルブ 7 を開いた状態で、第 2 のバルブ 7 により冷却流体の流量を減少させてもよい。ヒータ 10 によって冷却流体を加熱する温度を高くしてもよい。ポンプ 11 によって冷却流体を送る圧力を低下させて、冷却流体の流量を減少させてもよい。

40

## 【 0 0 2 7 】

制御部 14 は、加速管温度 T2 の目標値と測定値とが異なる場合、加速管温度 T2 の目

50

標値と測定値との差異に基づいて加速管温度 T 2 の測定値が目標値と等しくなるように、入口温度 T 1 の設定値が変更される構成になっている。ここで、入口温度 T 1 の変化量（以下、「入口温度変化量」という） T 1 と加速管温度 T 2 の変化量（以下、「加速管温度変化量」という） T 2 との関係については、図 4 にて実線 R 3 により示すように、縦軸の加速管温度変化量 T 2 は横軸の入口温度変化量 T 1 に比例するようになっている。このような関係を用いて、上述のように入口温度 T 1 の設定値が変更されることとなる。

【 0 0 2 8 】

本実施形態に係る加速管 2 の温度管理方法について、図 5 のフローチャートを参照して説明する。作業開始（START）の後に、加速管温度 T 2 の目標値を予め設定する（ステップ 1、S 1）。加速管 2 への入力電力 P を認識する（ステップ 2、S 2）。図 3 に示した入力電力 P と入口温度 T 1 の設定値との関係を用いて、予め定められた加速管温度 T 2 の目標値を達成するように、入力電力 P に基づいて入口温度 T 1 の設定値を定める（ステップ 3、S 3）。入口温度検出部 1 2 によって冷却流体の入口温度 T 1 を測定する（ステップ 4、S 4）。

10

【 0 0 2 9 】

次に、入口温度 T 1 の設定値と測定値とが等しいか否かを判定する（ステップ 5、S 5）。入口温度 T 1 の設定値と測定値とが異なる場合（NO）、入口温度 T 1 の設定値と測定値との差異に基づいて入口温度 T 1 の測定値が設定値に調節されるように、第 1 のバルブ 6、第 2 のバルブ 7、熱交換器 8、ヒータ 1 0、及びポンプ 1 1 の少なくとも 1 つを制御する（ステップ 6、S 6）。その後、冷却流体の入口温度 T 1 を測定するステップ（S 4）に戻る。入口温度 T 1 の設定値と測定値とが等しい場合（YES）、加速管温度検出部 1 3 によって加速管温度 T 2 を測定する（ステップ 7、S 7）。

20

【 0 0 3 0 】

さらに、加速管温度 T 2 の測定値が安定しているか否かを判定する（ステップ 8、S 8）。加速管温度 T 2 の測定値が不安定である場合（NO）、冷却流体の入口温度 T 1 を測定するステップ（S 4）に戻る。加速管温度 T 2 の測定値が安定している場合（YES）、加速管温度 T 2 の目標値と測定値とが等しいか否かを判定する（ステップ 9、S 9）。加速管温度 T 2 の目標値と測定値とが異なる場合（NO）、加速管温度 T 2 の目標値と測定値との差異に基づいて加速管温度 T 2 の測定値が目標値に調節されるように、入口温度 T 1 の設定値を変更する（ステップ 1 0、S 1 0）。その後、冷却流体の入口温度 T 1 を測定するステップ（S 4）に戻る。加速管温度 T 2 の目標値と測定値とが等しい場合（YES）、加速器 1 の稼働状況に基づいて上述の制御を継続するか否かを判断する（ステップ 1 1、S 1 1）。制御を継続する場合（YES）、加速管 2 への入力電力 P を認識するステップ（S 2）に戻る。制御を継続しない場合（NO）、作業を終了する（END）。

30

【 0 0 3 1 】

制御を継続するか否かの判断基準は、一例として、加速器 1 の起動直後の状況、加速器 1 が連続的に稼働し続けている状況等の場合には、制御を継続すると判断し、その一方で、加速器 1 が停止している状況では、制御を継続しないと判断するとよい。

【 0 0 3 2 】

なお、一例として、本実施形態に係る加速器 1、及び加速管 2 の温度管理方法においては、加速管 2 を確実に一定に維持することを考慮すると、冷却流体の入口温度 T 1 と、加速管 2 の冷却路 4 の出口 4 b を通過する冷却流体の出口温度 T 3 との温度差（= T 3 - T 1）を 1 0 以下の範囲にすると好ましい。

40

【 0 0 3 3 】

以上、本実施形態によれば、冷却流体の入口温度 T 1 と出口温度 T 3 との温度差を従来の温度差と比較して大きくした状態においても、上述のように冷却流体の入口温度 T 1 を管理することによって、加速管温度 T 2 の測定値を加速管温度 T 2 の目標値と等しくし、加速管 2 を確実に一定に維持することができる。このような構成においては、冷却流体の入口温度 T 1 と出口温度 T 3 との温度差を抑えるために、冷却流体の流量を増加させる必

50

要がない。よって、本実施形態によれば、発熱量の増加した加速管 2 を、冷却流体の流量を増加させずに一定に維持することができる。また、冷却流体の流量を増加させる必要がないことによって、加速管 2 の冷却路 4 の数を増加させる必要がなくなり、加速管 2 の冷却路 4 の横断面積を増加させる必要がなくなり、かつ大容量のポンプを用いる必要がなくなる。よって、付随的な効果として、加速器 1 の大型化を防止でき、かつ加速器 1 の製造コストの増加を防止できる。

【 0 0 3 4 】

ここまで本発明の実施形態について述べたが、本発明は既述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想に基づいて各種の変形及び変更が可能である。

【 0 0 3 5 】

例えば、本発明の第 1 変形例として、第 1 のバルブ 6 及び熱交換器 8 を含む第 1 の分流路部 5 a、並びに第 2 のバルブ 7 を含む第 2 の分流路部 5 b のうち第 1 の分流路部 5 a のみが設けられていてもよい。

10

【 0 0 3 6 】

本発明の第 2 変形例として、第 1 のバルブ 6 及び熱交換器 8 を含む第 1 の分流路部 5 a、並びに第 2 のバルブ 7 を含む第 2 の分流路部 5 b のうち第 2 の分流路部 5 b のみが設けられていてもよい。この場合、熱交換器 8 は、主流路部 5 c におけるタンク 9 とヒータ 10 との間に設けられていてもよい。

【 0 0 3 7 】

[ 実施例 ]

20

本発明の実施例について説明する。本実施例においては、本実施形態に係る加速管 2 の温度管理方法を用いて、本実施形態に係る加速器 1 に設けられた加速管 2 を一定に維持する。加速管 2 の発熱量は 60 kW となっている。このような本実施例においては、冷却流体の入口温度  $T_1$  と出口温度  $T_3$  との温度差 ( $= T_3 - T_1$ ) を 10 とした状態で、冷却流体の流量を 90 l/min とすることによって、加速管温度  $T_2$  の変化を 1 以内に抑えることができる。よって、本実施例において、冷却流体の流量を従来の流量と比較して増加させずに発熱量の増加した加速管 2 を一定に維持できる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 8 】

- 1 加速器
- 2 加速管
- 3 冷却装置
- 4 冷却路
- 4 a 入口
- 4 b 出口
- 5 循環路
- 5 a 第 1 の分流路部
- 5 b 第 2 の分流路部
- 5 c 主流路部
- 6 第 1 のバルブ
- 7 第 2 のバルブ
- 8 熱交換器
- 9 タンク
- 10 ヒータ
- 11 ポンプ
- 12 入口温度検出部
- 13 加速管温度検出部
- 14 制御部
- P 入力電力
- T 1 入口温度

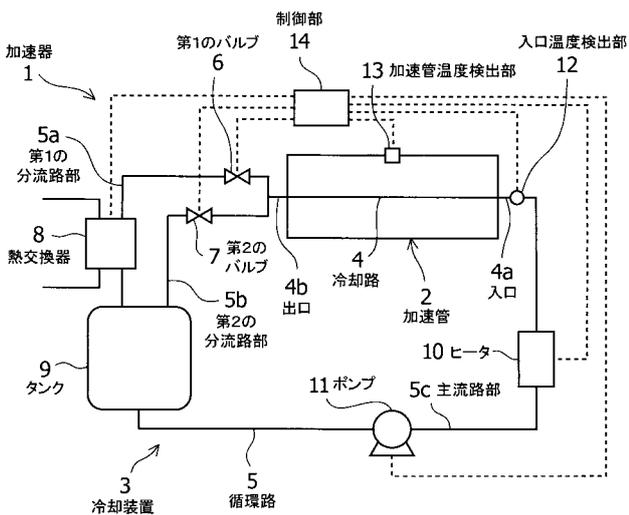
30

40

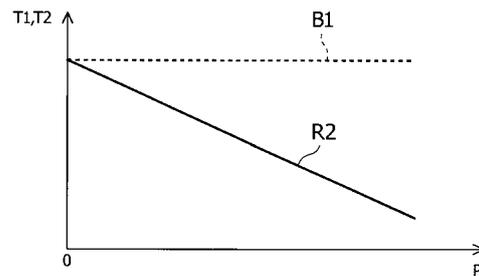
50

- T 2 加速管温度
- T 1 入口温度変化量
- T 2 加速管温度変化量
- R 1 , R 2 , R 3 実線
- B 1 破線
- S 1 ~ S 1 1 ステップ 1 ~ ステップ 1 1

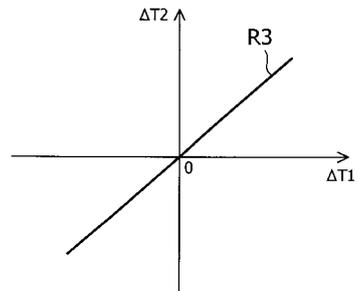
【 図 1 】



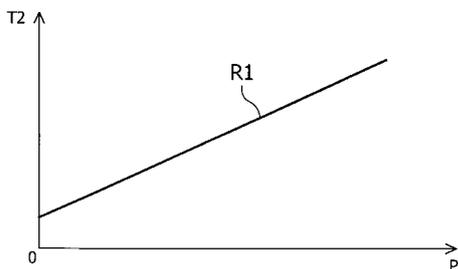
【 図 3 】



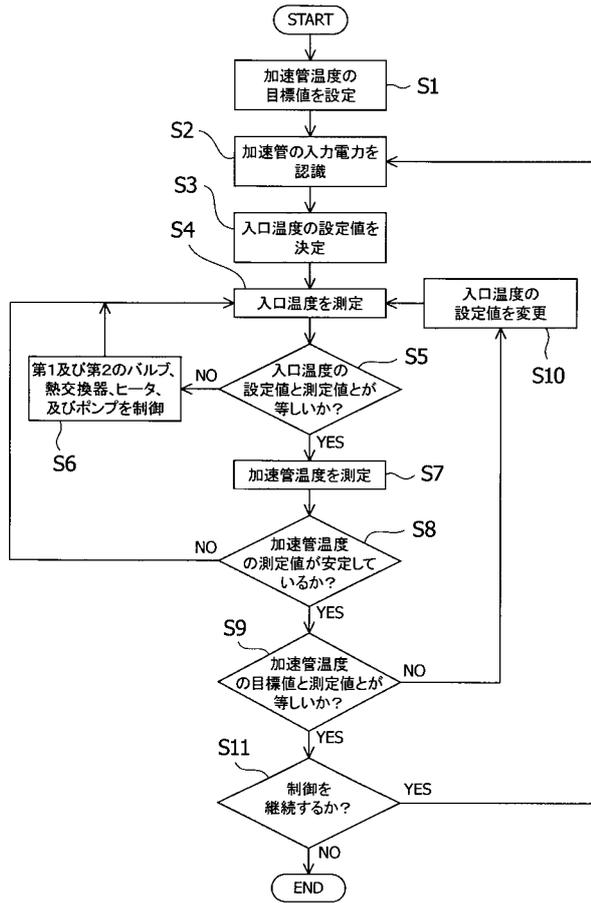
【 図 4 】



【 図 2 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100114591

弁理士 河村 英文

(74)代理人 100125380

弁理士 中村 綾子

(74)代理人 100142996

弁理士 森本 聡二

(74)代理人 100154298

弁理士 角田 恭子

(74)代理人 100166268

弁理士 田中 祐

(74)代理人 100170379

弁理士 徳本 浩一

(74)代理人 100161001

弁理士 渡辺 篤司

(72)発明者 柱野 竜臣

東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

(72)発明者 松本 浩

茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

Fターム(参考) 2G085 AA03 BA05 BE01 BE02 CA02 CA26